

УДК 681.5.08:622.412.13

© М.О. Алексеев, О.В. Голінько

**АВТОМАТИЧНА ДІАГНОСТИКА СТАНУ СТАЦІОНАРНИХ
ТЕРМОКАТАЛІТИЧНИХ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ**

© M. Alekseev, O. Golinko

**AUTOMATIC DIAGNOSTICS OF STATIONARY GAS ANALYZERS
THERMOCATALYTIC**

Наведено результати досліджень з розробки методу автоматичної діагностики стану стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану в частині автоматичного дистанційного контролю нульових показань аналізаторів шляхом зниження напруги живлення термогрупи до величини, при якій не протікає реакція окислення метану на робочому термоелементі.

Приведены результаты исследований по разработке метода автоматической диагностики состояния стационарных термокаталитических анализаторов метана в части автоматического дистанционного контроля нулевых показаний анализаторов путем снижения напряжения питания термогруппы до величины, при которой не протекает реакция окисления метана на рабочем термоэлементе.

Постановка проблеми. Вугільні родовища України характеризуються складними гірничо-геологічними умовами: малою потужністю пластів, значною газовістю, схильністю вугілля до самозаймання тощо. Це обумовлює наявність значного ризику виникнення небезпечних подій, які призводять до значних економічних втрат та супроводжуються травмуванням і загибеллю працюючих. Серед таких подій в першу чергу слід виділити вибухи метаноповітряних сумішей. Однією з причин цих вибухів є відмова чи неспрацьовування засобів автоматичного газового контролю за наявності вибухонебезпечних концентрацій метану в атмосфері гірничих виробок шахт.

Нині в існуючих газоаналізаторах для визначення вмісту метану в атмосфері гірничих виробок в основному використовують термокаталітичний метод контролю. Виконані дослідження цього методу та термокаталітичних засобів контролю метану дозволили істотно підвищити їх надійність та стабільність роботи таких газоаналізаторів [1,2]. Однак складні умови експлуатації газоаналізаторів (випадкові удари, заливання водою, дія екстремальних значень факторів тощо) а також несанкціоноване втручання в роботу аналізаторів можуть впливати на працездатність та стабільність роботи аналізаторів, а це, в свою чергу, може призвести до неспрацьовування засобів вибухозахисту, що є однією із причин виникнення аварій на шахтах. Прикладом цього є недавня аварія з чисельними смертельними наслідками спричинена вибухом метаноповітряної суміші, яка трапилася 2 березня 2017 року на шахті «Степова» ДП Львіввугілля, де, незважаючи на наявність досить кошовної інформаційно-управляючої сис-

теми безпеки УТАС, засоби вибухозахисту не забезпечили захисного відключення електричної мережі при наявності вибухонебезпечної концентрації метану, що стало однією із причин вибуху.

Слід також відзначити, що згідно чинних інструкцій по експлуатації існуючих стаціонарних засобів контролю вмісту метану необхідно здійснювати щоденну перевірку їх працездатності та періодично перевіряти їх в шахтних умовах з використанням атестованих газових сумішей, що обумовлює значні експлуатаційні витрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При експлуатації газоаналізаторів контроль їх нульових показань здійснюється шляхом подачі до датчиків чистого атмосферного повітря. Здійснити таку перевірку в автоматичному режимі складно. Інший шлях діагностики нуля полягає в короткочасному переведенні термогрупи газоаналізатора у такий режим роботи, коли на робочому елементі не відбувається окислення метану [1]. Спроби розробити та реалізувати такий метод автоматичної діагностики здійснювалися ще у вісімдесяті роки минулого століття [3], проте, зважаючи на відносно низький рівень розвитку електроніки, відсутність ефективних засобів для збереження інформації й мікропроцесорних засобів її обробки та недостатню вивченість процесів, що протікають в термokatалітичних датчиках, всі вони виявилися безуспішними [1]. Остання згадана причина в першу чергу полягає в тому, що при виготовленні термokatалітичних датчиків неможливо забезпечити абсолютно ідентичні параметри термоелементів в термогрупі, тому зниження струму через елементи завжди призводить до істотного зсуву нуля вимірювального моста.

В роботі [1] було показано, що незважаючи на те, що при виготовленні термokatалітичних датчиків неможливо забезпечити абсолютно ідентичні параметри термоелементів в термогрупі, шляхом управління вольтамперними характеристиками та початкового їх зміщення є можливість максимально зблизити характеристики чутливих елементів в робочій зоні і добитися того, щоб зниження струму через елементи до певного значення не приводило до істотного зсуву нуля вимірювального моста. Була також запропонована методика балансування вимірювального моста, яка дозволяла шляхом послідовного повторення операцій по зміщенню нуля моста та підбору опору резистора, включеного паралельно термоелементу з більшою крутизною вольт амперної характеристики, добитися того, щоб при зниженні струму через термоелементи не виникало суттєвого зміщення нуля вимірювального моста. Проте така процедура балансування виявилась досить тривалою та складною, потребувала введення додаткових елементів для управління крутизною вольт амперною характеристикою (перемінних резисторів) та спеціальної підготовки персоналу. Це не дало можливості реалізувати запропоновані рішення на практиці. Крім того наявність доступу персоналу до елементів встановлення нуля вимірювального моста та управління крутизною характеристик термоелементів при експлуатації аналізаторів метану в шахтних умовах є небажаним, оскільки на шахтах траплялися

випадки навмисного зсуву нуля в область від'ємних значень концентрацій для загублення захисту. Тому для впровадження розглянутого методу автоматичної діагностики нульових показань газоаналізаторів потрібно виключити процес балансування та унеможливити доступ до елементів регулювання їх нуля та чутливості.

Мета публікації – науково обґрунтувати метод автоматичної діагностики та коректування нульових показань термокаталітичних аналізаторів метану який може бути реалізований при використанні сучасних мікропроцесорних засобів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теоретична залежність величини напруги на термоелементі термокаталітичного сенсора від величини струму має вигляд [1]

$$U_e = I_e R_{e2} + \beta b_e R_{0e} I_e^3. \quad (1)$$

де U_e - напруга на термоелементі, В; I_e - струм через термоелемент, А; R_{e2} - опір термоелемента при температурі газу, Ом; β - температурний коефіцієнт опору, $1/^\circ\text{C}$; b_e - терморезистивний коефіцієнт термоелемента, $^\circ\text{C}/\text{A}^2$; R_{0e} - опір термоелемента при 0°C , Ом;

Терморезистивний коефіцієнт визначає взаємозв'язок електричних, теплових і геометричних характеристик термоелемента і є постійною величиною [1]. Опір термоелемента при температурі газу для платинового резистора визначається відомим виразом

$$R_{e2} = R_{0e}(1 + \beta t_e), \quad (2)$$

де t_e – температура газу, $^\circ\text{C}$.

З урахуванням виразів (1) і (2) напруга на послідовно включених робочому p і порівняльному n елементах відповідно становить:

$$U_p = I_e R_{0p}(1 + \beta t_e) + \beta b_p R_{0p} I_e^3, \quad (3)$$

$$U_n = I_e R_{0n}(1 + \beta t_e) + \beta b_n R_{0n} I_e^3. \quad (4)$$

В умовах виробництва забезпечити абсолютну ідентичність вольтамперних характеристик робочого та порівняльного елемента неможливо. Тому, при використанні традиційних схем включення термокаталітичного сенсора у вимірювальний міст, за умови, коли струм через термоелемент відповідає робочому режиму роботи термогрупи, нуль вимірювального моста встановлюється шляхом зміни величини баластних резисторів у порівняльній гілці моста. Зниження струму через елементи до величини за якого реакція термокаталітичного окислення метану на робочому елементі не протікає, з причини неідентичності вольтамперних характеристик робочого та порівняльного елемента, призводить до зміщення нуля вимірювального моста, що ускладнює процес автоматичної діагностики цього параметра.

Розглянемо можливість реалізації такої діагностики при використанні сучасних засобів для збереження інформації та її обробки. На рис. 1 наведено вольтамперні характеристики термоелементів при відсутності метану в газовій суміші. Для наочності ці характеристики вибрано такими, що суттєво відрізняються, хоча реально зміщення характеристик є на порядок меншим. При значенні струму через термоелементи I_e , що відповідає робочому режиму сенсора, із-за неідентичності вольтамперних характеристик елементів, різниця напруги між ними становить ΔU . Виходячи з рівнянь (3) та (4) в цьому випадку вона становить

$$\Delta U = U_p - U_n = I_e(R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_z) + \beta I_e^3(b_p R_{0p} - b_n R_{0n}). \quad (5)$$

За умови зниження величини струму до величини I'_e при якому реакція окислення метану на робочому елементі не протікає, різниця напруги на елементах становить

$$\Delta U' = U'_p - U'_n = I'_e(R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_z) + \beta I_e'^3(b_p R_{0p} - b_n R_{0n}). \quad (6)$$

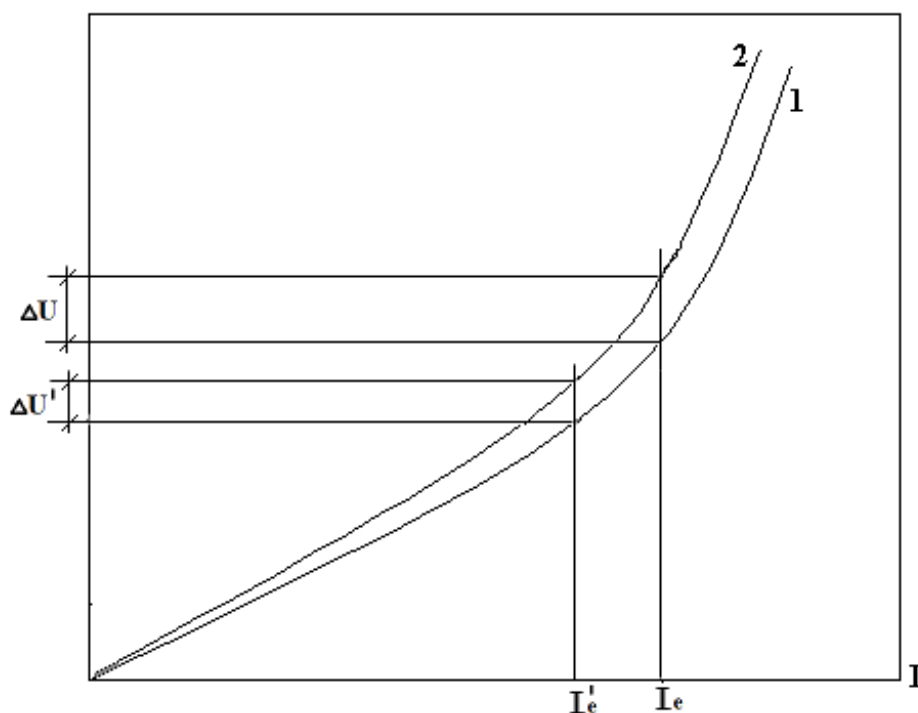


Рис. 1. Вольтамперні характеристики термоелементів при відсутності метану в газовій суміші.

Аналіз виразів (5) і (6) показує, що зміна ΔU може виникати при коливаннях температури газу, а також внаслідок нестабільності величини опору термоелементів чи їх терморезистивних коефіцієнтів. Що стосується останніх двох причин, то вони можуть проявлятися як при тривалій експлуатації датчиків внаслідок накопичення на поверхні чутливих елементів продуктів термічної деградації вуглеводнів [4] так і внаслідок дії на елементи значних імпульсних ме-

ханічних навантажень, які можуть призвести до просторового зміщення термоелементів в реакційній камері чи зміни їх параметрів (поява тріщини, осипання носія тощо). Такі навантаження можуть виникати, наприклад, при випадкових ударах по корпусу датчиків чи їх падінні [5].

Коливання температури газу в гірничих виробках можуть виникати як при зміні метеорологічних умов так і внаслідок зміни режимів провітрювання виробок. При оцінці стабільності нульових показань аналізаторів врахувати ці коливання можна програмним шляхом при додатковому введенні в аналізатор метану датчика температури газу. Крім того зменшення залежності нульових показань аналізаторів від температури можна досягнути шляхом управління режимом живлення чутливих елементів датчика, який повинен забезпечувати незалежність ΔU від зміни температури. Аналіз виразів (5) і (6) показує, що це може бути забезпечено шляхом управління величиною струму через елементи так, щоб при зміні температури газу напруга на порівняльному елементі залишалась незмінною, що за відсутності метану одночасно забезпечує стабільність напруги на робочому елементі і незалежність ΔU від зміни температури. В останньому випадку одночасно забезпечується практична незалежність температурного режиму елементів від температури середовища, що важливо для підтримання постійної чутливості аналізаторів в усьому діапазоні можливих змін температури середовища [1].

Представимо вирази (5) і (6) у вигляді

$$\Delta U = I_e a + I_e^3 b, \quad (7)$$

$$\Delta U' = I_e' a + I_e'^3 b. \quad (8)$$

де $a = (R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_z)$; $b = \beta(b_p R_{0p} - b_n R_{0n})$.

Наявність інформації про величину опорів елементів, отриманих в режимі налагодження аналізаторів та температури газу, дозволяє розрахувати значення коефіцієнта a , що в режимі перевірки нульових показань аналізаторів, виходячи із значення визначених величин струму I_e' і $\Delta U'$, та з врахуванням розрахувати значення коефіцієнта a , дозволяє програмним шляхом, виходячи з рівняння (8) уточнити фактичне значення коефіцієнта b . Це в свою чергу дозволяє при експлуатації аналізаторів автоматично, виходячи з рівняння (7), здійснити не тільки перевірку стабільності нульових показань аналізатора, а і здійснити корегування цих показань при їх зміні в заздалегідь визначених межах.

Спираючись на проведені дослідження нами було виготовлено макет аналізатора з функцією автоматичної діагностики нульових показань та розроблено алгоритм і програму роботи аналізатора.

В аналізаторі метану, побудованого з використанням сучасних мікропроцесорних засобів обробки інформації, в якому реалізована функція автоматичної діагностики нульових показань, відсутні елементи для регулювання «нуля» і

чутливості аналізатора. Аналізатор має два режими роботи: режим налагодження і робочий режим. Всі операції налагодження і перевірки здійснюються без втручання оператора згідно розробленої програми роботи аналізатора. В режимі налагодження виносний датчик аналізатора встановлюється в малогабаритну камеру яка за командою з дисплею аналізатора, по чергово заповнюється атмосферним повітрям чи атестованою газовою сумішшю з вмістом метану 1,0%. При подачі чистого повітря аналізатором встановлюються задані величини струму через чутливі елементи, визначаються та заноситься в пам'ять аналізатора величини напруг на елементах та їх різниця, визначаються значення коефіцієнтів a і b в рівняннях. При подачі атестованої газової суміші до виносного датчика аналізатора визначається та встановлюється попередньо визначена для чистого повітря величина напруги на порівняльному елементі, визначається напруга на робочому елементі та розраховується чутливість датчика аналізатора, мВ/%CH₄.

В робочому режимі безперервно виконуються операції вимірювання напруг на елементах, підтримка визначеної при регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначення різниці напруг на елементах, розрахунок та передача інформації про вміст метану. За зовнішнім запитом оператора чи періодично, згідно визначеного програмою роботи аналізатора часу та за умови стабільної й безпечної газової ситуації в місці контролю, здійснюється перевірка та коректування нульових показань аналізатора. При цьому встановлюється величини струму через термоелементи при якому реакція окислення метану на робочому елементі не протікає, після закінчення перехідного процесу визначаються напруги на елементах та їх різниця, уточнюються значення коефіцієнтів a і b і оцінюється ступінь зміщення «нуля» датчика при відсутності реакції окислення метану на робочому елементі та приймається рішення щодо необхідності в повідомленні оператора про необхідність здійснення перевірки та налагодження аналізатора чи корегування нульових показань аналізатора. Потім встановлюється робоча величина струму через термоелементи, а після закінчення перехідного процесу виконуються операції вимірювання напруг на елементах та регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначається різниця напруг на елементах, здійснюється корегування нульових показань аналізатора за результатами перевірки та розрахунок і передача інформації про вміст метану.

Висновок. Виконані дослідження дозволили обґрунтувати метод автоматичної діагностики стану стаціонарних термокаталітичних аналізаторів метану в частині автоматичного дистанційного контролю нульових показань аналізаторів шляхом зниження напруги живлення термогрупи до величини, при якій не протікає реакція окислення метану на робочому термоелементі та показали, що при використанні сучасних мікропроцесорних засобів обробки інформації є можливість не тільки автоматично перевіряти стабільність нульових показань аналізаторів, а і здійснити корегування цих показань при їх зміні. Для реалізації

результатів досліджень розроблено алгоритм і програму роботи аналізатора з автоматичною діагностикою нульових показань.

Перелік посилань

1. Golinko, V.I., Kotlyarov A.K., Belonozhko V.V. (2004). Kontrol vzryvoopasnosti gornyykh vyrobok shakht. Dnepropetrovsk: Nauka i obrazovaniye.
2. Belonozhko, V.V. (2003) Issledovaniye vremennoy stabil'nosti termokataliticheskikh datchikov metana. Naukoviy visnik Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. (11), 76-79.
3. Apparatura proverki termokhimicheskikh datchikov sistemoy avtomaticheskoy gazovoy zashchity «Akkord». Rukovodstvo po ekspluatatsii. (1979). Konotop: NPO «Krasnyy metallist».
4. Golinko V.I., Belonozhko A.V. (2008) Issledovaniye protsessov nakopleniya produktov termicheskoy destruktzii uglevodorodov na poverkhnosti termoelementov. Naukoviy visnik Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. (7), 60-65.
5. Golinko V.I., Belonozhko A.V. (2006) Issledovaniye rabotosposobnosti termokataliticheskikh datchikov metana posle ikh dlitel'noy ekspluatatsii. Naukoviy visnik Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. (10). 72-75.

ABSTRACT

Purpose. To substantiate the method of automatic diagnostics and adjustment of zero indications of methane analyzers which can be realized using modern microprocessor means.

The methodology of the study is to determine the dependence of changes in the characteristics of sensitive elements under the influence of various factors.

Findings. The method of automatic diagnostics of the state of methane stationary analyzers in the part of automatic remote control of their zero indications is substantiated by reducing the voltage of the supply of sensitive elements to a value in which the methane oxidation reaction on the working element does not occur.

The originality is to manage the power supply of sensitive elements of methane analyzers to determine the possible offset and automatic correction of the zero readings of the analyzers.

Practical implications. The results of the research can increase the reliability of control and reduce the cost of servicing stationary methane analyzers.

Keywords: *coal mines, methane content, control, analyzer, automatic diagnostics, zero indications*